

## ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ АППАРАТ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЧУГУНА

### Аннотация

*Исследован и испытан в лабораторных условиях новый способ восстановления углеродом железосодержащих материалов в электрической дуге. Этот способ позволяет получить чугун с содержанием углерода 3-4 % в жидкотекучем состоянии, который может быть сгранулирован, отлит в чушки или переработан в сталь в агрегате ковш-печь из жидкого состояния с минимальными удельными выходами газа и шлака. Необходимы технологии с максимальным извлечением железа из руды и минимальным загрязнением атмосферы, использованием дешевых и менее дефицитных восстановителей как, например, энергетический уголь.*

*Так же была проведена сравнительная характеристика электродуговой установки с доменным производством, вследствие которой были выявлены преимущества электродуговой установки.*

**Ключевые слова:** электрическая дуга; полый электрод; экспериментальная установка; чугун; углерод.

### Abstract

*Examined and tested in the laboratory a new method of reducing carbon-containing iron-containing materials in an electric arc. This method gets to get iron with a carbon content of 3-4 % in a fluid state, which can be granulated, cast into pigs or processed into steel in a ladle-furnace unit from a liquid state with minimal specific gas and slag yields. Technologies are required with the maximum extraction of iron from ore and minimal pollution of the atmosphere, the use of cheap and less scarce reducing agents such as steam coal.*

*A comparative characteristic of an electric arc installation with a blast-furnace production was also carried out, as a result of which the advantages of an electric arc installation were revealed.*

**Key words:** electric arc; hollow electrode; experimental setup; cast iron; carbon.

Уже много лет актуальной задачей ученых металлургов является поиск альтернативных технологий получения железа из минерального сырья, причем без использования дорогостоящего кокса, природного газа и наименьшим давлением на экологию.

Высокие удельные энергетические затраты были и остаются главными недостатками доменного производства. Около 80% от общих затрат энергии потребляет доменная печь совместно с коксохимическим, агломерационным и энергетическим производствами. Процесс восстановления ведется при низкой энергонапряженности. Иными словами, относительно малым количеством энергии, выделяющиеся в единицы объема рабочего пространства доменной печи – 0,4-1 МВт/м<sup>3</sup>. В настоящее время энергоемкость доменно-конвертерного способа производства стали на уровне заготовки в промышленно развитых странах составляет 20-25 ГДж/т. Не стоит забывать и о том, что доменное

производство требует использование рудного сырья достаточно высокого качества. А более глубокое обогащение сырьевых материалов и необходимость окускования концентрата приводит к повышению энергозатрат и росту потерь железа с хвостами. Поэтому актуальной задачей ученых металлургов является поиск альтернативных технологий получения железа с максимальным извлечением из минерального сырья, причем без использования дорогостоящего кокса, природного газа и наименьшим давлением на экологию. Необходимы технологии их замены на дешевые и менее дефицитные восстановители как, например, энергетический уголь с максимальным извлечением железа из руды и минимальным загрязнением атмосферы.

Во ВНИИМТ в последние годы разработан и опробован в лабораторных условиях новый способ прямого получения металла путем восстановления твердым восстановителем в электродуговой печи постоянного тока мелкозернистого материала, включая измельченную руду, концентрат, железосодержащие шламы и т.п.

Данная технология позволяет получить чугуны с содержанием углерода 3-4% в жидкотекучем состоянии, который может быть сгранулирован, отлит в чушки или переработан в сталь в агрегате ковш-печь из жидкого состояния с минимальными удельными выходами газа и шлака.

Температура восстановления в зоне образования электрической дуги, куда целенаправленно подается загружаемая шихта, составляет от 2 000 до 5 000 °С и более. Как известно, при таких высоких температурах восстановление металлов из оксидов резко интенсифицируется. В металлургии в настоящее время используются существенно низкие температуры 700-1300 °С, как в доменных (шахтных), так и в других известных процессах, включая электрические рудно-термические.

На рисунке 1 представлена лабораторная установка периодического действия для плавки концентратов. Между полым цилиндрическим угольным электродом 1 и угольной подиной в форме шайбы 5 создается электрическая дуга от трансформатора постоянного тока 6, соединенного гибкими медными проводами с выведенными контактами 7. Огнеупорный периклазошпинелидный кирпич 8, располагаемый на стационарной платформе 4, имеет высверленное отверстие в центре, куда плотно устанавливается угольная подина 5, образуя совместно с огнеупорным кирпичом 8 и крышкой 9 рабочее пространство печи 10. Дополнительная внешняя теплоизоляция кирпича шамотом голковесом и каолиновой ватой на рисунке не показана. Для розжига электрической дуги и регулирования ее длины положение полого электрода 1, закрепленного на подвижном кронштейне 2, можно изменять в вертикальной плоскости при помощи поворотной рукояти 3.

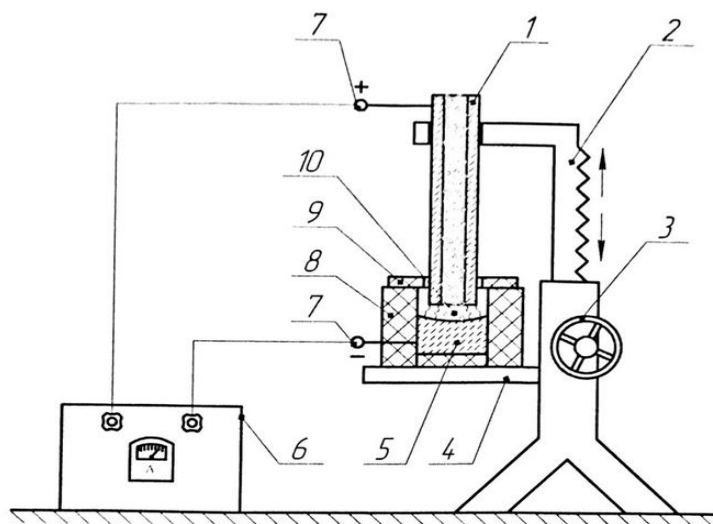


Рис. 1. Экспериментальная установка оригинальной конструкции  
ОАО ВНИИМТ:

- 1 – полый электрод; 2 – кронштейн; 3 – поворотная рукоять;  
4 – стационарная платформа; 5 – угольная подина;  
6 – трансформатор постоянного тока; 7 – контакты; 8 – огнеупорный кирпич;  
9 – крышка; 10 – рабочее пространство

Для проведения экспериментов исходную и обожженную сидеритовую руду различного состава дробили до крупности 5-0 мм и смешивали с полукоксом.

Плавильно-восстановительную установку предварительно прогревали электрической дугой в течении 5 минут при силе тока 280 А и напряжении 20 В. Далее при отключенном электропитании полый электрод 1 прижимали к угольной подине 5, заполняли его внутреннее пространство подготовленной рудоугольной смесью, включали трансформатор 6. Увеличивая зазор между полым электродом 1 и угольной подиной 5 при помощи поворотной рукояти 3, разжигали электрическую дугу и поддерживали рабочий режим при силе тока 280 А и напряжении 20 В. Под действием высокотемпературной дуги в рабочем пространстве печи 10 происходил процесс восстановления материала твердым восстановителем. Слой материала в полом электроде 1 постепенно проседал по мере его проплавления. После завершения восстановительного процесса питание установки отключали, полый электрод 1 поднимали в крайнее верхнее положение, снимали крышку 9 и остужали на открытом воздухе готовый продукт, затем отделяли от шлаковой части полученный металлический слиток и анализировали металл методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой для определения его поэлементного состава. Результаты анализов представлены в таблице 1.

Таким образом, в ходе четырех плавок были получены металлические слитки с содержанием общего железа не менее 92 % массовых, не загрязненные вредными примесями серы и фосфора. Полученный в опытах металл можно охарактеризовать как белый чугун: нелегированный, заэвтектический, в изломе белый.

Таблица 1

Результаты анализов				
Элемент	Опыты			
	1,1	1,2	2,1	2,2
B	0,0044	0,003	0,003	0,0066
Na	0,004	0,004	0,002	0,004
Mg	0,065	0,07	0,02	0,15
Al	0,06	0,035	0,007	0,02
Si	0,1	0,1	0,1	0,1
P	0,002	0,005	0,005	0,004
K	0,2	0,2	0,1	0,1
Ca	0,25	0,15	0,1	0,25
Ti	0,0007	0,0085	0,001	0,0065
V	0,001	0,01	0,01	0,25
Cr	0,001	0,017	0,003	0,013
Mn	0,76	0,48	0,46	1,04
Co	0,002	0,03	0,002	0,01

Главной особенностью и преимуществом нового процесса получения чугуна из бакальских сидеритов является снижение затрат на подготовку сырья, так как достаточно лишь измельчить исходную или предварительно обожженную руду, смешать ее с твердым восстановителем и направить рудоугольную смесь в плавильно-восстановительную установку.

Экспериментальные работы ОАО ВНИИМТ по восстановлению различных типов сырья новым способом показали, что процесс восстановления любого сырья осуществляется высоко интенсивно. Из литературных данных известно, что при температурах более 1 600 °С при восстановлении железа переход из сырья V, Cr, и Ti в металл значительно увеличивается, что способствует получению природного легированного металла.

Помимо указанного основного достоинства новой технологии ВНИИМТ можно отметить следующие достаточно существенные преимущества:

1. Технология позволяет перерабатывать железорудное сырье с содержанием железа в руде от 35 % без специальных дополнительных операций: как окомкование, кроме измельчения до минус 5 мм и подсушки до 1-2 % влажности. При этом выход чугуна составит около 350 кг, газов около 100-150 кг и шлака около 500-550 кг на тонну сырья.

2. Технология позволяет получать жидкий чугун из любого железорудного сырья, обогащенного или необогащенного, включая отходы (цветные шлаки).

3. Для запуска технологии необходимо помещение, электроэнергия, печь дуговая с устройством загрузки сыпучего материала, вода для охлаждения печи, уголь в объеме 15-20 %, система отвода и очистки газов в объеме газов диссоциации при восстановлении оксидов железа (примерно 15-20 %). Других энергоносителей (газ, воздух, кислород и т.п.), а также дополнительного оборудования не требуется.

4. Технология обладает высокой экологичностью (выбросы газов в 10 раз ниже, чем в доменном процессе), компактностью, мобильностью, низкой трудозатратностью. Сравним электродуговой процесс ОАО «ВНИИМТ» с доменным процессом. Известно, что доменная печь выделяет огромное количество доменного газа. В настоящее время для интенсификации доменного процесса и сокращения расхода кокса существует много различных мероприятий, влияющих и на свойства доменного газа: повышения давления, температуры и влажности доменного дутья, обогащения дутья кислородом, вдувание в горн природного газа, мазута и т.п. В результате совокупного действия этих факторов, в составе доменного газа повышается содержание водорода с одновременным уменьшением СО, вследствие чего теплота сгорания его изменяется мало, и составляет около 3500-4000 кДж/м<sup>3</sup>, а выход доменного газа снижается с 3800-4000 до 2000-2500 м<sup>3</sup>/т чугуна. Печь ВНИИМТ в процессе восстановительной плавки использует только тепло выделяемое электрической дугой, сторонних газов в рабочее пространство не подается. Поэтому при выплавке одной тонны чугуна по стехиометрическому соотношению количество выделяющихся газов от процесса составит 300-400 м<sup>3</sup>/т чугуна.

5. Технология в тандеме с системой «ковш-печь» позволяет получать сталь непосредственно из жидкого чугуна путем непрерывной продувки кислородом с небольшой интенсивностью.

6. Технология может обеспечить высококачественным сырьем мини-металлургические заводы, взамен лома.

7. Технология ОАО «ВНИИМТ» позволяет получать многие ферросплавы, в лабораторных условиях опробованы процессы получения ферроникеля, феррохрома, ферромарганца, выплавки железа из красных шламов, из шлака режского никелевого завода.

8. При восстановлении окисленных никелевых руд возможно получить ферроникель с содержанием никеля до 22 %. При плавке окисленных никелевых руд с содержанием никеля 1,5 % и железа 5,5 % получается сплав с соотношением никель/железо =  $1,5/7,5 = 0,22$ , то есть 22 % никеля. Выход сплава из сырой руды составит всего 70 кг. на тонну руды, но благодаря высокой стоимости никеля затраты на электроэнергию (по предварительным расчетам) составят не более 30-40 % от выручки.

9. Еще одним преимуществом технологии электродугового получения чугуна ОАО «ВНИИМТ» является возможность 100 % использования содержащегося железа в добытой из земли руды. Известно, что сегодня доменные печи, как правило, работают на обогащенном и окомкованном сырье. При обогащении некоторых руды с хвостами теряется безвозвратно до 25 % железа. Следовательно, до годного продукта доходит только 75 % добытого железа. При использовании новой технологии ОАО «ВНИИМТ» – электродугового получения чугуна из руды, без предварительного обогащения, в дело идет все 100 % железа, добытого из недр. Расчеты показывают, что даже при не производственных затратах электроэнергии на плавление балласта, добавочное увеличение выхода металла на 25 %, с лихвой перекрывает эти расходы. Из чего следует, что достаточно богатые руды выгоднее

перерабатывать без обогащения по новой технологии ОАО «ВНИИМТ», так как обогащение с получением концентрата неминуемо приводит к потере металлов с хвостами до 25 %.

А также следует еще раз отметить, что экологические преимущества новой технологии получения металлов электродуговым способом ОАО «ВНИИМТ» позволяют в 10 раз снизить выбросы CO<sub>2</sub> (парниковых газов) в атмосферу и решать вопросы более эффективного использования богатства недр земли.

### **Список использованных источников**

1. Шпарбер Л.Я. Металлургия железа и чугуна. Кн. 1,2. Тула: АССОД, 1996.
2. Лякишев Н.П. Некоторые проблемы современного сталеплавильного процесса // Сталь. №9. 1996.
3. Тепловая работа шахтных печей и агрегатов с плотным слоем / Я.М. Гордон, Б.А. Боковиков, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко. – М.: Энергия, 1970. – 264 с.
4. Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М., Ходоровский И.Ю. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии / Под ред. Ю.Г. Ярошенко. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012.
5. Зайнуллин Л.А., Епишин А.Ю., Артов Д.А., Карелин В.Г., Спирин Н.А. Высокотемпературное углетермическое восстановление сидеритовых руд в электрической дуге // Металлург. №11. 2016. С. 31-34.
6. Способ прямого восстановления материалов, содержащих оксиды металлов, с получением расплава металла и устройство для осуществления способа / Зайнуллин Л.А., Епишин А.Ю., Карелин В.Г. [и др.] // Заявка на изобретение № RU 2014154385 от 30.12.2014. Опубл. 20.07.2016. Бюлл. № 20.

УДК 621.742.52

**Н. В. Ямшанова, В. И. Матюхин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА НА ПОКАЗАТЕЛИ ЕЕ РАБОТЫ**

### **Аннотация**

*Вращающиеся печи являются наиболее распространенных тепловых агрегатов для обжига мелких фракций мягких пород.*

*На основании результатов зональных материальных и тепловых балансов барабанной печи различной производительности установлено, что для обеспечения завершенности обжига известняка необходимо:*

- 1) *значительные капитальные затраты на сооружение;*
- 2) *существенные площади для размещения основного и вспомогательного оборудования;*